

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re Application of:

KI-YUN KIM *et al.*

Serial No.: *to be assigned*

Examiner: *to be assigned*

Filed: 24 October 2003

Art Unit: *to be assigned*

For: APPROXIMATION METHOD FOR SERIES EXPANSION OF INPUT  
FUNCTION AND SYSTEM USING THE SAME

**CLAIM OF PRIORITY**  
**UNDER 35 U.S.C. §119**

**Mail Stop Patent Application**

Commissioner for Patents

P.O.Box 1450

Alexandria, VA 22313-1450

Sir:

The benefit of the filing date of the following prior foreign application, Korean Priority No. 10-2003-27747 (filed in Korea on 30 April 2003, and filed in the U.S. Patent and Trademark Office on 24 October 2003), is hereby requested and the right of priority provided in 35 U.S.C. §119 is hereby claimed.

In support of this claim, filed herewith is a certified copy of said original foreign application.

Respectfully submitted,



Robert E. Bushnell

Reg. No.: 27,774

Attorney for the Applicant

Suite 300, 1522 "K" Street, N.W.  
Washington, D.C. 20005  
(202) 408-9040

Folio: P56978  
Date: 24 October 2003  
I.D.: REB/ki

# 대한민국 특허청

## KOREAN INTELLECTUAL PROPERTY OFFICE

별첨 사본은 아래 출원의 원본과 동일함을 증명함.

This is to certify that the following application annexed hereto  
is a true copy from the records of the Korean Intellectual  
Property Office.

출원 번호 : 10-2003-0027747  
Application Number

출원 년 월 일 : 2003년 04월 30일  
Date of Application APR 30, 2003

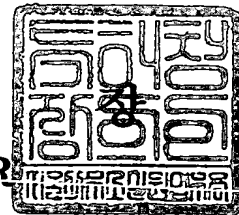
출원인 : 삼성탈레스 주식회사  
Applicant(s) SAMSUNG THALES CO., LTD.



2003      년      05      월      13      일

특      허      청

COMMISSIONER



## 【서지사항】

【서류명】	특허출원서
【권리구분】	특허
【수신처】	특허청장
【참조번호】	0013
【제출일자】	2003.04.30
【국제특허분류】	H01L
【발명의 명칭】	급수전개함수의 근사화 방법 및 그 시스템
【발명의 영문명칭】	Approximation method and system for series expansion function
【출원인】	
【명칭】	삼성탈레스 주식회사
【출원인코드】	1-2000-004598-8
【대리인】	
【성명】	이영필
【대리인코드】	9-1998-000334-6
【포괄위임등록번호】	2000-013348-5
【대리인】	
【성명】	이해영
【대리인코드】	9-1999-000227-4
【포괄위임등록번호】	2000-013350-5
【발명자】	
【성명의 국문표기】	김기윤
【성명의 영문표기】	KIM,Ki Yun
【주민등록번호】	740711-1057419
【우편번호】	423-839
【주소】	경기도 광명시 철산3동 486-12
【국적】	KR
【발명자】	
【성명의 국문표기】	김호
【성명의 영문표기】	KIM, Ho
【주민등록번호】	670417-1167611

【우편번호】	120-094
【주소】	서울특별시 서대문구 홍제4동 청구아파트 105동 1003호
【국적】	KR
【발명자】	
【성명의 국문표기】	최형진
【성명의 영문표기】	CHOI, Hyung Jin
【주민등록번호】	520830-1080711
【우편번호】	138-220
【주소】	서울특별시 송파구 잠실동 86 아시아선수촌아파트 10동 405호
【국적】	KR
【공지예외적용대상증명서류의 내용】	
【공개형태】	간행물 발표
【공개일자】	2002.11.30
【심사청구】	청구
【취지】	특허법 제42조의 규정에 의한 출원, 특허법 제60조의 규정에 의한 출원심사를 청구합니다. 대리인 이영필 (인) 대리인 이해영 (인)
【수수료】	
【기본출원료】	20 면 29,000 원
【가산출원료】	19 면 19,000 원
【우선권주장료】	0 건 0 원
【심사청구료】	21 항 781,000 원
【합계】	829,000 원
【첨부서류】	1. 요약서·명세서(도면)_1통 2. 공지예외적용대상(신규성상실의예외, 출원시의특례)규정을 적용받기 위한 증명서류_1통

**【요약서】****【요약】**

본 발명은 급수 전개 함수의 근사화 방법 및 그 시스템에 관한 것으로서, 소정 입력 신호에 대해 오차가 최소화된 소정의 유한 항수  $N$ 의 급수전개함수를 산출하는, 급수 전개함수의 근사화 방법은, 입력 신호에 대해 소정 유한 항수  $N$ 의 테일러 급수 전개를 수행하는 단계; 입력 신호에 대해 항수  $N-1$ 의 테일러 급수 전개를 수행하는 단계;  $N$  항수의 테일러 급수 전개 결과에 소정 가중치  $\alpha$ 를 곱하는 단계; 가중치  $\alpha$ 를 곱한  $N$  항의 테일러 급수 전개 결과와 유한 항수  $N-1$ 인 테일러 급수 전개 결과를 가산하는 단계; 및 가산 결과를  $\alpha+1$ 로 나누는 단계를 포함함을 특징으로 한다.

본 발명에 의하면, 유한항의 급수 전개 함수를 간단하게 근사화시키고, 그 근사화 오차 역시 최소화 할 수 있다.

**【대표도】**

도 2

## 【명세서】

## 【발명의 명칭】

급수전개함수의 근사화 방법 및 그 시스템{Approximation method and system for series expansion function}

## 【도면의 간단한 설명】

도 1은 아크탄젠트 함수  $\arctan(x)$ 를 테일러 전개할 때, 유한 항수  $N$ 과 이상적인 테일러 함수값과의 근사화 오차  $E_N(x)$ 의 특성을 보인 그래프이다.

도 2는 상술한 본 발명의 급수 전개 함수의 근사화 방법을 블록도로서 나타낸 것이다.

도 3a~3c는 본 발명의 급수 전개 함수를 이용한 경우, 각각 사인( $\sin(x)$ ), 코사인( $\cos(x)$ ) 및 아크탄젠트( $\arctan(x)$ ) 함수 영역에서의 가중치  $\alpha$  값에 따른 근사 오차 함수  $E_N(x)$ 의 특성을 나타낸 것이다.

도 4는 가중치  $\alpha$ 를 산출하는 방법의 흐름도이다.

도 5a~5b는  $\arctan(x)$  함수에 대한 유한항의 테일러 전개, 오일러 근사화 방식, 본 발명의 근사화 방식에 따른 각각의 근사 오차 함수  $E_N(x)$  특성들을 비교한 그래프이다.

도 6a는 입력 신호 구간인  $[-1, 1]$  구간을 네 구간으로 나누어 각각  $x=-0.75$ ,  $x=-0.25$ ,  $x=0.25$ ,  $x=0.75$ 를 중심으로 아크탄젠트 함수를 각각 테일러 전개한 경우의 오차 함수 특성을 보인 것이다.

도 6b는 최고차수를 4차로 동일하게 하여 구간을 나누어 테일러 급수 전개한 함수의 오차 특성과, 본 발명의 방식을 적용한 급수전개 근사화 방식의 근사화 오차 특성을 비교한 그래프이다.

도 7a~7c는 종래의 유한 테일러 급수 전개 방식과 본 발명의 급수 전개 방식을 적용한 QAM-OFDM 성좌도를 10개의 OFDM 심볼 동안 관찰한 결과를 도시한 그래프이다.

#### 【발명의 상세한 설명】

#### 【발명의 목적】

#### 【발명이 속하는 기술분야 및 그 분야의 종래기술】

- <9> 본 발명은 급수전개 근사화 방식 및 그를 구현하는 시스템에 관한 것으로서, 보다 상세하게는 입력값에 대한 수리 함수값의 급수 전개 근사화 오차를 최소화하는 방법 및 시스템에 관한 것이다.
- <10> 일반적으로 시스템 설계는 상위레벨 설계에서 분석과 검증을 마친 후 하위레벨 설계로 이어지게 된다. 상위설계시 사용된 수학 함수(arithmetic functions)들을 하위 설계시 충실하게 구현할 수 있기 위해서는 함수값을 메모리에 저장해 사용할 수 있는데, 이 경우 모든 변수값에 대응하는 함수값이 마련되어야 하므로 많은 메모리 용량이 필요하고 따라서 하드웨어 구현에 부담이 뒤따르게 된다.
- <11> 이러한 이유로 시스템 구현시 수학 함수들은 메모리에 각각의 함수값을 저장하지 않고, 일반적으로 급수전개를 통해 입력 변수에 대한 함수값을 얻도록 설계된다.
- <12> 그러나, 급수전개식은 함수의 수렴을 위해서 무한(infinite) 항의 합으로 이뤄져야 하는데 이것은 현실적 구현에서 불가능하므로 유한개의 전개항을 이용하여 근사화된 합

수값을 얻는다. 이때 이상적인 함수값과 근사화된 함수값과의 오차인 근사화 오차 (approximation error)(또는 절삭 오차, truncation error)가 필연적으로 발생할 수 밖에 없다. 이러한 근사화 오차는 시스템에 치명적인 오동작 및 성능 열화를 유발하곤 한다. 함수값을 얻기 위해 가능한 많은 전개항을 사용하면 근사화 오차는 작아지겠지만, 항이 증가할수록 시스템의 복잡도가 증가하게 되는 단점이 생긴다.

<13> 수학식 1과 같이  $f_0(x), f_1(x), f_2(x), \dots$  함수들로 항을 이루는 무한 급수에 의해 표현될 수 있는 수리 함수  $S(x)$ 를 가정하자.

<14> **【수학식 1】** 
$$S(x) = \sum_{n=0}^{\infty} f_n(x) = f_0(x) + f_1(x) + f_2(x) + \dots$$

<15> 예를 들어 디지털 시스템 구현시 종종 사용되는 삼각함수를  $x=0$ 을 중심으로 테일러 급수 전개하면, 수학식 2 ~ 4와 같이 전개 항들의 부호(sign)가 번갈아 바뀌는 교대 급수(alternating series)로 표현된다.

<16> **【수학식 2】** 
$$\cos(x) = \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n \frac{x^{2n}}{2n!} = 1 - \frac{x^2}{2!} + \frac{x^4}{4!} - \dots$$

<17> **【수학식 3】** 
$$\sin(x) = \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n \frac{x^{2n+1}}{(2n+1)!} = x - \frac{x^3}{3!} + \frac{x^5}{5!} - \dots$$

<18> **【수학식 4】** 
$$\arctan(x) = \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n \frac{x^{2n+1}}{2n+1} = x - \frac{x^3}{3!} + \frac{x^5}{5!} - \frac{x^7}{7!} + \dots$$
  
 $-1 \leq x \leq 1$

<19> 고정 소수점(fixed point) 디지털 시스템에서, 상술한 급수전개 함수는 현실적으로 어떤 유한항까지만 전개되어 그에 따른 근사화 오차를 필연적으로 유발한다. 만약 교대 급수의 부분합  $S_N(x) = \sum_{n=0}^N (-1)^n f_n(x)$  이 함수  $S(x) = \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n f_n(x)$  를 근사화 하는데 사용된다면



근사화 오차는  $E_N(x) = S(x) - S_N(x)$ 으로 표현할 수 있다. 특히  $N$ 이 클수록  $|E_N(x)|$ 는 커지게 되고, 작은 근사화 오차값을 위해 더 많은 항의 전개가 요구된다.

<20> 이러한 교대 급수의 근사화 오차를 줄이는 방법으로 오일러(Euler) 근사화 방법이 있다. 이것은  $(N-1)$  번째 항까지만 급수 전개식을 따르고, 이 결과에 오일러 변환식을 이용한 나머지 항을 더하는 것이다. 오일러 방법은 다음의 수학식 5와 같이 표현할 수 있다.

<21> **【수학식 5】** 
$$\sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n f_n = f_0 - f_1 + f_2 - \cdots - f_{N-1} + \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n}{2^{n+1}} [\Delta^n f_N]$$
,  $N$ 이 짝수일 경우

<22> 위에서  $\Delta$ 는 전진 차이 연산자(forward difference operator)라 부르며 다음 수학식 6과 같은 특징을 가진다.

<23> 
$$\begin{aligned} \Delta f_N &\equiv f_{N+1} - f_N \\ \Delta^2 f_N &\equiv f_{N+2} - 2f_{N+1} + f_N \\ \Delta^3 f_N &\equiv f_{N+3} - 3f_{N+2} + 3f_{N+1} - f_N \end{aligned}$$
 **【수학식 6】**

<24> 오일러 방식에 의한 급수 전개 방식 역시, 수학식 5의 최우측 항에 표현된 수식의 항수 전개가 여전히 많아야 정확한 근사가 이뤄지고, 특히  $N$ 이 짝수일 때에만 성립한다는 단점이 있다.

<25> 따라서, 신호 처리 장치에서 입력된 신호의 수학 함수값을 얻기 위해서는, 보다 간단하면서도 그 구현된 실제값과 이상값과의 오차가 최소화할 수 있는 급수전개 방식의 근사화 방법 및 그 구현 장치가 요구된다.

## 【발명이 이루고자 하는 기술적 과제】

- <26> 본 발명이 이루고자 하는 기술적 과제는 급수 전개시 작은 수의 항 전개로도 이상적인 함수값과의 오차를 효과적으로 줄일 수 있는 방법과, 이를 구현하는 시스템을 제공하는데 있다.
- <27> 본 발명이 이루고자 하는 다른 기술적 과제는, 상기 본 발명의 급수 전개 근사 방법을 이용해, 직교 주파수 분할 다중화(OFDM) 시스템의 반송파 주파수 오프셋에 따른 위상 회전량을 산출 및 보상하는, 급수전개근사 함수를 이용한 OFDM 시스템 및 그 반송파 주파수 오프셋 보상 방법을 제공하는데 있다.

## 【발명의 구성 및 작용】

- <28> 상기 과제를 해결하기 위한, 소정 입력 신호에 대해 오차가 최소화된 소정의 유한 항수  $N$ 의 급수전개함수를 산출하는, 급수전개함수의 근사화 방법은, 상기 입력 신호에 대해 소정 유한 항수  $N-1$ 의 테일러 급수 전개를 수행하는 단계; 상기 입력 신호에 대해 항수  $N$ 의 테일러 급수 전개를 수행하는 단계; 상기  $N-1$  항수의 테일러 급수 전개 결과에 소정 가중치  $\alpha$ 를 곱하는 단계; 상기 가중치  $\alpha$ 를 곱한  $N-1$  항의 테일러 급수 전개 결과와 상기 유한 항수  $N$ 인 테일러 급수 전개 결과를 가산하는 단계; 및 상기 가산 결과를  $\alpha+1$ 로 나누는 단계를 포함함을 특징으로 한다.
- <29> 상기  $\alpha$ 는  $0 < \alpha \leq 1$ 임이 바람직하다.
- <30> 상기 과제를 해결하기 위한, 소정 입력 신호에 대해 오차가 최소화된 소정의 유한 항수  $N$ 의 급수전개함수를 산출하는, 급수전개함수의 근사화 방법은,  $N-1$ 항 까지의 테일러 급수 전개함수를 산출하는 단계;  $N$ 번째 항의 함수값에 소정의 가중치를 곱한 값을 산출

하는 단계; 및 상기 N-1항 까지의 급수전개합과 상기 가중치가 곱해진 N번째 함수값을 더한 급수전개근사함수를 산출하는 단계를 포함함을 특징으로 한다.

&lt;31&gt;

상기 소정의 가중치는,  $0 < \alpha \leq 1$ 인  $\alpha$ 에 대해,  $\frac{(-1)^N}{(\alpha+1)}$  임이 바람직하다.

&lt;32&gt;

상기  $\alpha$ 는, 주어진 N 값에 대해 구해지며, 주어진 N 값에 대해 상기 급수전개근사 함수와 이상적인 테일러 급수 전개 함수값과의 오차  $|E_N(x)|$ 가 최대가 되는 x에서의 상기 오차값을 최소로 할 수 있는 값으로 정함이 바람직하다.

&lt;33&gt;

주어진 N에 대하여 상기  $\alpha$ 를 결정하는 단계는, a) 주어진 입력 신호(x)의 범위 내 ( $x_{\min} \sim x_{\max}$ )에서 가장 작은 값  $x_{\min}$ 을 취하는 단계; b) 상기 급수전개근사함수에서 주어진 N과 x에 대한 결과 f를 얻는 단계; c) x에 대한 주어진 이상적인 함수값 (N을 무한대로 했을 때의 이상적인 테일러 급수 전개 함수값)  $F_x$ 에서 상기 f를 뺀 오차값  $E_{N,x}$ 을 구하여 저장하는 단계; d) x가 주어진 범위 내에서 최대값인지 아닌지를 판단하여 최대값에 도달하지 않았으면 x값에 소정 증가분  $\delta$  을 가산하고 가산된 입력 x에 대해 상기 b) 단계부터 다시 수행하는 단계; e) x가 최대값이면 c) 단계에서 저장한 모든 x들 각각의 오차값의 절대값  $|E_{N,x}|$  가운데 최대값을 선택하는 단계; 및 f) 선택된 최대 오차 함수로부터, 함수값이 최소가 되게 하는  $\alpha$ 를 산출하고, 산출된  $\alpha$ 를 현재의 N에 대한 식 8의  $\alpha$  값으로서 정해 저장하는 단계를 포함함이 바람직하다.

&lt;34&gt;

상기 과제를 해결하기 위한, 소정 입력 신호에 대해 오차가 최소화된 소정의 유한 항수 N의 급수전개함수를 산출하는, 급수전개함수의 근사화 방법은, 전체 입력 신호 구간을 소정 개수 만큼 분리하는 단계; 상기 분리된 각 입력 신호 구간에 대해, N-1항 까지의 테일러 급수 전개합을 산출하는 단계; N번째 항의 함수값에, 상기 분리된 입력 신

호 구간의 중심으로부터 좌측에 대해 소정의 제1가중치를 곱하고 우측에 대해 소정의 제2가중치를 곱하는 단계; 및 상기 N-1항 까지의 급수전개합과 상기 가중치가 곱해진 N번째 함수값을 더한 급수전개근사함수를 산출하는 단계를 포함함을 특징으로 한다.

<35> 상기 제1가중치 및 제2가중치는, 상기 각 구간의 좌 및 우측의 각각의 N 값에 대해 구해지며, 주어진 N 값에 대해 이상적인 함수값과 급수전개함수값의 차  $|E_N(x)|$ 가 최대가 되는 x에서 상기 오차값을 최소로 할 수 있는 값으로 결정함이 바람직하다.

<36> 상기 다른 과제를 해결하기 위한, 직교 주파수 분할 다중화(OFDM) 시스템의 반송파 주파수 오프셋 보상 방법은, 아크탄젠트( $\arctan$ ) 급수 전개를 이용해 반송파의 주파수 오프셋을 추정하는 단계; 및 추정된 주파수 오프셋( $\hat{\epsilon}$ )을 이용하여 수신된 샘플들 각각에 대한 위상 회전량을 구하기 위해 먼저 첫번째 샘플( $k=1$ )에 대한 위상 회전량을 구하고, 이때 사용되는  $\sin(2\pi\hat{\epsilon})$  및  $\cos(2\pi\hat{\epsilon})$  값은 급수 전개하여 오차값을 최소로 하는 방식을 적용하여 위상 회전량을 구하는 단계; 및 두 번째 샘플 이후부터 상기 첫번째 샘플( $k=1$ )에서 구한 값과 이전 샘플( $k-1$ )에서 구한 샘플값을 이용하여 삼각함수 전개 기법을 통해 k번째 위상 회전량을 구하는 단계를 포함함을 특징으로 한다.

<37> 상기 직교 주파수 분할 다중화 시스템의 반송파의 주파수 오프셋은,  $y(i)$ 가 i번째 수신 샘플을 나타내고, Re와 Im, L이 고속 푸리에 변환의 크기(FFT)를 나타내고,  $\hat{\epsilon}_0$ 이 정규화된 추정 반송파 주파수 오프셋 ( $\Delta f/T$ )을 나타낼 때,

$$\frac{1}{2\pi} \arctan \left\{ \frac{\sum_{i=1}^L \text{Im}(y(-i)y^*(L-i))}{\sum_{i=1}^L \text{Re}(y(-i)y^*(L-i))} \right\}$$

에 따라 산출됨이 바람직하다.

<38> k 번째 샘플의 위상 회전 변화량의 산출은, k=1인 경우,  $\alpha_1, \alpha_2$ 를 각각 소정의 가

$$\begin{aligned} \cos(\Delta\hat{\omega}T_s) &= \sum_{n=0}^{N-1} (-1)^n \frac{(\Delta\hat{\omega}T_s)^{2(N-n)}}{(2n)!} + \alpha_1 \cdot (-1)^N \frac{(\Delta\hat{\omega}T_s)^{2N}}{(2N)!} \\ \sin(\Delta\hat{\omega}T_s) &= \sum_{n=0}^{N-1} (-1)^n \frac{(\Delta\hat{\omega}T_s)^{2(N-n)+1}}{(2n+1)!} + \alpha_2 \cdot (-1)^N \frac{(\Delta\hat{\omega}T_s)^{2N+1}}{(2N+1)!} \end{aligned}$$

중치라고 할 때, , k≥ 2인 경우,

$$\begin{aligned} \cos(k\Delta\hat{\omega}T_s) &= \cos((k-1)\Delta\hat{\omega}T_s + \Delta\hat{\omega}T_s) \\ &= \cos((k-1)\Delta\hat{\omega}T_s)\cos(\Delta\hat{\omega}T_s) - \sin((k-1)\Delta\hat{\omega}T_s)\sin(\Delta\hat{\omega}T_s) \end{aligned}$$

<39>

$$\begin{aligned} \sin(k\Delta\hat{\omega}T_s) &= \sin((k-1)\Delta\hat{\omega}T_s + \Delta\hat{\omega}T_s) \\ &= \sin((k-1)\Delta\hat{\omega}T_s)\cos(\Delta\hat{\omega}T_s) + \cos((k-1)\Delta\hat{\omega}T_s)\sin(\Delta\hat{\omega}T_s) \end{aligned}$$

과 같이 수행함이 바람직하다.

<40> 상기 과제를 해결하기 위한, 소정 입력 신호에 대해 오차가 최소화된 소정의 유한 항수 N의 급수전개함수를 산출하는, 급수전개 함수 근사화 시스템은, 상기 입력 신호에 대해 소정 유한 항수 N의 테일러 급수 전개를 수행하고, 상기 입력 신호에 대해 항수 N의 테일러 급수 전개를 수행하고, 상기 N-1 항수의 테일러 급수 전개 결과에 소정 가중치  $\alpha$ 를 곱하고, 상기 가중치  $\alpha$ 를 곱한 N-1 항의 테일러 급수 전개 결과와 상기 유한 항수 N인 테일러 급수 전개 결과를 가산하고, 상기 가산 결과를  $\alpha+1$ 로 나눔으로써, 입력 신호의 급수전개함수값을 산출하는 연산처리부를 포함함을 특징으로 한다.

<41> 상기  $\alpha$ 는  $0 < \alpha \leq 1$ 임이 바람직하다.

<42> 상기  $\alpha$ 는, 각각의 N 값에 대해 구해지며, 해당 N 값에 대해 상기 급수전개근사함수와 이상적인 테일러 급수 전개 함수값과의 오차  $|E_N(x)|$ 가 최대가 되는 x에서의 상기 오차값을 최소로 할 수 있는 값으로 정함이 바람직하다.

<43> 상기 과제를 해결하기 위한, 소정 입력 신호에 대해 오차가 최소화된 소정의 유한 항수 N의 급수전개함수를 산출하는, 급수전개 함수 근사화 시스템은, N-1항 까지의 테일러 급수 전개함수를 산출하고, N번째 항의 함수값에 소정의 가중치를 곱한 값을 산출하고,

상기 N-1항 까지의 급수전개합과 상기 가중치가 곱해진 N번째 함수값을 더한 급수전개근사함수를 산출하는 연산처리부를 포함함을 특징으로 한다.

&lt;44&gt;

상기 소정의 가중치는,  $0 < \alpha \leq 1$ 인  $\alpha$ 에 대해,  $\frac{(-1)^N}{(\alpha+1)}$  임이 바람직하다.

&lt;45&gt;

상기  $\alpha$ 는, 주어진 N 값에 대해 구해지며, 주어진 N 값에 대해 상기 급수전개근사함수와 이상적인 테일러 급수 전개 함수값과의 오차  $|E_N(x)|$ 가 최대가 되는 x에서의 상기 오차값을 최소로 할 수 있는 값으로 결정함이 바람직하다.

&lt;46&gt;

상기 연산처리부는 상기  $\alpha$ 에 대해, a) 주어진 입력 신호(x)의 범위 내에서 가장 작은 값  $x_{\min}$ 을 취하고, b) 상기 급수전개근사함수에서 N과 x에 대한 결과 f를 얻고, c) x에 대해 소정 이상값  $F_x$ 에서 상기 f를 뺀 오차값  $E_{N,x}$ 을 구하여 저장하고, d) x가 주어진 범위 내에서 최대값인지 아닌지를 판단하여 최대값에 도달하지 않았으면 x값에 소정 정밀 증가분  $\delta$ 를 가산하고 가산된 입력 x에 대해 상기 b) 부터 다시 수행하고, e) x가 최대값이면 c)에서 저장한 모든 x 값들에 대한 각각의 오차값  $E_{N,x}$  가운데 최대값을 선택하고, f) 선택된 최대 오차 함수로부터, 함수값이 최소가 되게 하는  $\alpha$ 를 산출하고, 산출된  $\alpha$ 를 현재의 N에 대한 식 8의  $\alpha$  값으로서 정해 저장하는 시뮬레이션을 통해 산출함이 바람직하다.

&lt;47&gt;

상기 다른 과제를 해결하기 위한, 직교 주파수 분할 다중화(OFDM) 시스템의 반송파 주파수 오프셋 보상은, 아크탄젠트(arctan) 급수 전개를 이용해 반송파의 주파수 오프셋을 추정하는 오프셋 추정 수단; 및 추정된 주파수 오프셋( $\hat{\epsilon}$ )을 이용하여 수신된 샘플들 각각에 대한 위상 회전량을 구하기 위해 먼저 첫번째 샘플(k=1)에 대한 위상 회전량을 구하고, 이때 사용되는

$\sin(2\pi\hat{\epsilon})$  및  $\cos(2\pi\hat{\epsilon})$  값은 급수전개하여 오차값을 최소로 하는 방식을 적용하여 위상 회전량을 구하고, 두 번째 샘플 이후부터 상기 첫번째 샘플(k=1)에서 구한 값과 이전 샘플(k-1)에서 구한 샘플값을 이용하여 삼각함수 전개기법을 통해 k 번째 위상 회전량을 구하는 수단을 포함함을 특징으로 한다.

<48> 상기 직교 주파수 분할 다중화 시스템의 반송파의 주파수 오프셋 추정 수단은,  $y(i)$ 가 i번째 수신 샘플을 나타내고, Re와 Im이 각각 수신 신호의 복소수의 실수부와 허수부를 나타내고, L이 고속 푸리에 변환(FFT)의 크기를 나타내고,  $\hat{\epsilon}$ 이 정규화된 추정 반송파 주파수 오프셋 ( $\Delta f T$ )을 나타낼 때,

<49> 
$$\frac{1}{2\pi} \arctan \left\{ \frac{\sum_{i=1}^L \text{Im}(y(-i)y^*(L-i))}{\sum_{i=1}^L \text{Re}(y(-i)y^*(L-i))} \right\}$$
에 따라 반송파의 주파수 오프셋( $\hat{\epsilon}$ )을 산출함이 바람직하다.

<50> 상기 k 번째 샘플의 위상 회전 변화량의 산출은, k=1인 경우,  $\alpha_1, \alpha_2$ 를 각각 소정의 가중치라고 할 때, 
$$\cos(\Delta\hat{\omega}T_s) = \sum_{n=0}^{N-1} (-1)^n \frac{\Delta\hat{\omega}T_s^{2(n+1)}}{(2n)!} + \alpha_1 \cdot (-1)^N \frac{\Delta\hat{\omega}T_s^{2N}}{(2N)!}$$
  

$$\sin(\Delta\hat{\omega}T_s) = \sum_{n=0}^{N-1} (-1)^n \frac{\Delta\hat{\omega}T_s^{2n+1}}{(2n+1)!} + \alpha_2 \cdot (-1)^N \frac{\Delta\hat{\omega}T_s^{2N+1}}{(2N+1)!}$$
, k≥ 2인 경우,  

$$\cos(k\Delta\hat{\omega}T_s) = \cos((k-1)\Delta\hat{\omega}T_s + \Delta\hat{\omega}T_s)$$
  

$$= \cos((k-1)\Delta\hat{\omega}T_s)\cos(\Delta\hat{\omega}T_s) - \sin((k-1)\Delta\hat{\omega}T_s)\sin(\Delta\hat{\omega}T_s)$$
  

$$\sin(k\Delta\hat{\omega}T_s) = \sin((k-1)\Delta\hat{\omega}T_s + \Delta\hat{\omega}T_s)$$
  

$$= \sin((k-1)\Delta\hat{\omega}T_s)\cos(\Delta\hat{\omega}T_s) + \cos((k-1)\Delta\hat{\omega}T_s)\sin(\Delta\hat{\omega}T_s)$$
과 같이 k 번째 샘플의 위상 회전 변화량을 산출함이 바람직하다.

<51> 이하에서 첨부된 도면을 참조해 본 발명을 상세히 설명한다.

<52> 도 1은 아크탄젠트(arctangent) 함수  $\arctan(x)$ 를 테일러 전개할 때의 항수 N에 따른 근사화 오차

$E_N(x)$ 의 특성을 보인 그래프이다. 이 그래프로부터,  $x=0$ 을 중심으로 그 근방의 근사화 성능이 가장 좋다는 것을 알 수 있다. 또한 0에서 멀어지거나 전개항  $N$  값이 작을수록 근사화 오차가 커져 성능이 열화됨을 알 수 있다. 그래프에서,  $N=9$ 이고  $x=-1$ 일 때 근사화 오차는  $1.43^\circ$  정도 발생한다. 이것은 시스템 구현 환경에 따라 시스템에 치명적인 오차로 작용할 수 있는 값이다.

<53> 도 1의 근사화 오차 특성을 살펴볼 때,  $N$ 의 차수가 짝수인 것과 홀수인 것의 극성이 서로 반대로 번갈아 나타남을 알 수 있다. 이것은 상술한 수학적 2의 코사인 함수  $\cos(x)$ 와 수학적 3의 사인 함수  $\sin(x)$ 의 근사화 오차 특성에도 공통적으로 발생하는 현상이다. 표 1은 상술한 삼각함수의 근사화 오차 극성 특성을 나타낸 것이다.

<54> 【표 1】

	함수 이름	$\sin(x)$		$\cos(x)$		$\arctan(x)$	
	N 상태	odd	even	odd	even	odd	even
$x>0$		-	+	-	+	-	+
$x<0$		+	-	+	-	+	-

<55> 표 1에서, 급수로 표현되는 함수는 수렴한다는 것을 가정한 것이므로,  
 $0 < \frac{|E_N(x)|}{|E_{N-1}(x)|} \leq 1$  이고,  $\text{sgn}[E_N(x)] = -\text{sgn}[E_{N-1}(x)]$ 의 관계가 성립한다. 즉,  $N$ 이 짝수일 경우와 홀수일 경우 근사 오차 함수  $E_N(x)$  극성이 서로 반대가 된다는 특성이 있고, 급수 함수는 수렴한다는 특성이 있다. 이러한 특성들을 이용하여, 급수 전개 함수의 오차를 최소화할 수 있는, 다음의 수학적 7과 같은 새로운 급수 근사화 방식을 도출할 수 있다.

<56> 【수학적 7】  $\hat{S}_N(x) = \frac{1}{(\alpha+1)} (\alpha S_{N-1}(x) + S_N(x))$



<57> 소정 함수에 대해, 전개 항이 N인 급수 전개 합과 전개 항이 N-1인 급수 전개 합 각각의 근사 오차는 전개 항이 N-1인 경우가 N인 경우 보다 클 것이고, 그 극성은 서로 반대가 될 것이다. 따라서, (N-1) 항까지 전개한 급수 전개 합에는  $0 < \alpha \leq 1$  구간 안에 존재하는 가중치  $\alpha$ 를 곱한다. 그리고 N번째 항까지 전개한 전개 합에는 가중치 1을 곱한다. 수학적 식 7은 이러한 가중치가 주어진 N-1의 급수 전개합과 N의 급수 전개합을 더한 후,  $\alpha+1$ 로 나누어 그 평균을 구한 결과를 나타낸다. 수학적 식 7에 대해 교대급수  $S_N(x) = S_{N-1}(x) + (-1)^N f_N(x)$ 의 성질을 이용하면 수학적 식 8과 같은 간단한 식을 얻을 수 있다.

<58> **【수학적 식 8】**  $\hat{S}_N(x) = S_{N-1}(x) + \frac{(-1)^N}{(\alpha+1)} f_N(x)$

<59> 결국, N항까지의 급수 전개를 할 경우 N-1항 까지는 일반적인 급수 전개식을 따르고 그 마지막 항에  $(-1)^N/(\alpha+1)$ 을 곱하면 근사화 오차값을 줄일 수 있는 효율적인 개선된 급수전개 방식이 될 수 있다. 수학적 식 8의 결론은, 수학적 식 5에서의 오일러의 식 보다 훨씬 간단한 특성을 가지며, 수렴 특성을 가지는 일반 급수 전개에도 사용될 수 있다. 도 2는 상술한 본 발명의 급수전개함수의 근사화 방법을 블록도로서 나타낸 것이다. 이러한 본 발명의 급수전개함수의 근사화 방식은 디지털 신호 처리부(DSP)와 같은 시스템의 연산처리부내에서 구현될 수 있다.

<60> 최적의  $\alpha$  값 및 성능 평가 결과에 대해 이하에서 다루도록 한다.

<61> 도 3a~3c는 수학적 식 8을 이용한 경우, 각각 사인 함수, 코사인 함수 및 아크탄젠트 함수 영역에서의 가중치  $\alpha$  값에 따른 근사 오차 함수  $E_N(x)$ 의 특성을 나타낸 것이다. N=3으로 설정하였고,  $\alpha$ 의 최적값은 이하의 수학적 식 9와 같이  $E_N(x)$  값 중 가장 큰 것을 최소화하는 값을 0과 1 사이의 구간에서 시뮬레이션하여 찾는다.

<62> 【수학식 9】  $\min\{\max[|E_N(x)|]\}$

<63> 그러한  $\alpha$  값은, 주어진 N에 적합한 최적의 값을 가진다.

<64> 도 4는 수학식 8을 이용해, 주어진 N에 있어 주어진 입력 신호(x)의 범위내에서 최대 근사 오차를 최소화 시킬 수 있는  $\alpha$ 를 찾기 위한 방법의 흐름도를 도시한 것이다.

<65> 주어진 입력 신호(x)의 범위 내에서 가장 작은 값  $x_{\min}$ 을 취한다(402단계).

<66> 본 발명의 급수 전개 함수인 수학식 8에서, N과 x에 대한 결과 f를 얻는다(404단계).

<67> x에 대해 N을 무한대로 했을 때의 이상적인 급수 전개값  $F_x$ 에서 f를 뺀 오차값  $E_{N,x}$ 을 구하여 저장한다(406단계).

<68> x가 주어진 범위 내에서 최대값인지 아닌지를 판단하여(408단계) 최대값이 아니면 x값에 정밀 추정 증가분인  $\delta$ 를 가산한다(410단계). 가산된 입력 x에 대해 404단계 내지 408단계를 다시 수행한다.

<69> x가 최대값이면 406단계에서 저장한 모든 x들 각각의 오차값의 절대값  $|E_{N,x}|$  가운데 최대값을 선택한다(412단계). 선택된 최대  $|E_{N,x}|$  값은  $\alpha$ 의 함수일 것이다. 따라서 선택된 최대 오차 함수로부터, 함수값이 최소가 되게 하는  $\alpha$ 를 산출할 수 있다(414단계).

<70> 수학식 8과 같은 본 발명의 함수를 시스템에 구현할 때, 항수 N에 따라 다르게 나타나는 패러미터  $\alpha$  값은 시스템 설계시 정해진 N 값에 따라 시뮬레이션을 통해 미리 정해진다. 도 2에서 보여진 바와 같이  $\alpha=0$ 으로 하는 테일러 급수 전개의  $|E_N(x)|$  분포보다, 최적의  $\alpha$  값을 이용한 본 발명의 테일러 급수 전개 방식이  $|E_N(x)|$  값을 보다 효과적으로 줄일 수 있다.

<71> 도 5a~5b는  $\arctan(x)$  함수에 대한 테일러 전개, 오일러 근사화 방식, 본 발명의 근사화 방식에 따른 각각의 근사 오차 함수  $|E_N(x)|$  특성들을 비교한 그래프이다. 비교의 공정성을 위해 각 알고리즘의 급수 근사화시 필요로 하는 마지막 항을 동일하게 하였다. 도 5a에서 본 발명의 근사화 알고리즘 및 테일러 전개는  $N=7$ 을 사용해  $f_7(x)$  까지 전개하였고, 오일러 근사화 방법에서는  $f_3(x)$  까지 테일러 전개를 따르고 나머지 항인  $f_4(x) \sim f_7(x)$ 까지는 전진 차이 연산자(forward difference operator)  $\Delta_3^u$ 를 따르도록 하였다. 도 5a에서  $|x|$ 가 1에 가까운 영역에서는 오일러 방식이 다소 우수하게 나타날 수 있지만 전반적인 대부분의 구간에서 본 발명의 방식이 일반 테일러 급수 전개나 오일러 방식을 이용한 급수 전개시 보다 근사 오차가 훨씬 적게 나타남을 알 수 있다. 도 5b의 오차 특성 비교 그래프를 보면,  $N=5$ 일 경우의 오일러 근사화 방식은 근사 오차가 매우 커서 원하는 성능을 기대할 수 없음을 알 수 있다. 이에 비해 본 발명의 급수 전개 방식은  $N=7$ 인 경우와 그 오차 값에 있어 별 차이를 보이지 않는다. 따라서, 본 발명의 방식은 오일러 방식을 이용한 급수 전개에 비해 그 적용이 간단하고  $N$  값에 상관없이 우수한 성능으로 근사화한다는 장점을 가지게 된다.

<72> 만약 넓은 구간에서 균일한 오차 성능이 요구될 경우, 본 발명에서는 근사화를 여러 구간으로 나누어 영역별로 급수 전개를 수행하는 방식을 사용한다. 구간별 급수 전개는 훨씬 작은 근사화 오차를 가지게 된다. 이러한 구간별 급수 전개는 전체 구간에 있어서,  $x=0$ 에서 멀어질수록 근사 오차가 기하급수적으로(exponentially) 커지는 것을 방지하기 위한 것이다.

<73> 도 6a는  $[-1, 1]$  구간을 네 등분하여  $x = -0.75$ ,  $x = -0.25$ ,  $x = 0.25$ ,  $x = 0.75$ 를 중심으로 아크탄젠트 함수를 각각 테일러 전개한 경우의 오차 함수의 특성을 나타낸 것이

다. 이렇게 구간을 나누어 그 각각에서 전개시킨 테일러 급수의 오차 함수 특성은  $x=0$  을 중심으로 전개한 경우처럼 반드시 양 방향의 극성이 반대가 되는 교대급수 형태로 되는 않는다. 그러나 이러한 구간들 안에서 아크탄젠트 함수의 테일러 급수는 여전히 수렴 특성을 가지므로, 아래의 수학식 10과 같이 해당 구간 안에서  $N-1$  까지의 항들의 합과 극성을 고려한 가중치  $\beta$ 를 곱한  $N$  번째 항을 더했을 때, 근사화 오차를 줄일 수 있다.

<74> 【수학식 10】  $\widetilde{S}_N(x) = S_{N-1}(x) + \beta f_N(x)$

<75>  $\beta$  값은 수학식 8의  $\alpha$ 와 같이 한  $N$  값에 있어서 주어진 입력 구간에 대해 한 개의 값만이 존재하는 것은 아니다. 즉, 분리된 구간 중심에서 좌우 방향 각각의 오차 함수가 교대 급수일 수도 교대 급수가 아닐 수도 있으므로(즉, 오차 함수의 극성이  $N$ 과  $N-1$  항의 전개에 있어서 반대가 될 수도 동일할 수도 있기 때문에),  $\beta$  값은 4 구간인 전체 구간을 다시  $[-1, -0.75)$ ,  $[-0.75, -0.5)$ , ...,  $[0.75, 1]$ 의 8개 구간으로 나누어 각각의 구간에 대해 하나씩 얻어야 한다. 8개의 각 구간에서 최적의  $\beta$  값을 산출하는 방식은 상술한  $\alpha$  값의 산출 방식과 동일하다. 이와 같이 구간을 나누어 본 발명의 급수 전개 근사화 방식은, 시스템 내 연산 처리 기능을 가진 프로세서들에 의해 구현될 수 있다.

<76> 도 6b는 최고차수를 4차로 동일하게 하여 테일러 급수 전개 함수의 오차 특성과 구간을 나누어 본 발명의 방식을 적용한 함수의 오차 특성을 비교한 경우이다. 여기서, 본 발명의 함수 각 구간에서의  $\beta$  값은 차례로 0.888, 1.10, 0.445, 1.56, 1.58, 0.465, 1.1, 0.892 로 산출되었다. 오일러 방식을 이용해 구간을 나누어  $\arctan(x)$  함수를 급수 전개하는 것은 가능하지 않으므로, 여기에서는 비교의 대상이 될 수 없다. 도 6b에

서 보듯이  $[-1, 1]$ 의 범위를 4 구간으로 나누었을 때, 본 발명의 방식은 훨씬 낮고 균일한 근사화 오차 성능을 나타낸다. 이와 같은 성능 개선 효과는 구간을 더욱 좁게 나누어 나갈 때 더 뚜렷해진다.

<77> 따라서 본 발명의 방식은 테일러 급수 전개에 있어 유한항의 전개시 발생하는 근사화 오차를 줄일 수 있으며, 오일러 방식과 같은 적용 한계를 가지지 않는다는 장점을 가진다.

<78> 이하에서는 본 발명의 방식이 적용되기 적합한, OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 시스템의 반송파 복구 과정에 대해 설명한다. OFDM 시스템의 반송파 복구 과정은 삼각 함수의 테일러 급수 전개 이용의 좋은 예가 되며, 이때 본 발명의 급수전개근사 함수가 적용될 수 있다.

<79> 반송파 주파수 오프셋 추정은 일반적으로 OFDM 심볼의 후반부와 보호 구간을 이용하는 다음과 같은 식이 사용된다.

<80>

$$\hat{\epsilon} = \frac{1}{2\pi} \arctan \left\{ \frac{\sum_{i=1}^L \text{Im}(y(-i)y^*(L-i))}{\sum_{i=1}^L \text{Re}(y(-i)y^*(L-i))} \right\}$$

【수학식 11】

<81> Re와 Im은 각각  $i$  번째 복소 수신 신호 샘플  $y(i)$ 의 실수부와 허수부를 의미하며  $L$ 은 FFT(고속 푸리에 변환) 크기,  $\hat{\epsilon}$ 은 추정된 정규화된 반송파 오프셋  $\Delta f T$ 이다. 수학식 1의  $\arctan(x)$  함수에 대해 테일러 급수 전개를 수행할 경우 추정 위상오차가 가장 크게 발생하는 곳은  $x$ 가

$\pm 1$ 을 가질 때이다. 이때  $\hat{\epsilon}$ 은  $\hat{\epsilon} = \pm 1/8, \pm 3/8$ 이다. IEEE 802.11과 같이 심볼 주기  $T=3.2\mu\text{sec}$ 로 가정한다면,  $\Delta f = \pm 39.1\text{KHz}, \pm 117.2\text{KHz}$ 일 때 테일러 급수 전개에 의한 추정 오차가 가장 크게 된다. 또한 이때  $\arctan(x)$ 의 급수 전개값이  $4^\circ$  만큼 오차가 발생했다면, 이것은  $A/360$  만큼의 정규화 주파수 오프셋 오차가 추정 주파수 오차와는 상관없이 발생함을 의미한다. OFDM 시스템은 주파수 오프셋에 매우 민감하며, 작은 주파수 오프셋이라도 ICI(Intercarrier Interference)로 인해 BER(Bit Error Rate) 성능이 열화되므로 이와 같은 구현 오차는 최소화되어야만 한다.

<82> 이와 같이 추정된 주파수 오프셋  $\hat{\Delta\omega} = 2\pi\hat{\epsilon}/T$ 은 수학적 12와 같은 삼각함수 전개 원리를 이용해 수학적 13과 같이, 샘플 간격이  $T_s$ 인  $k$  번째 샘플의 위상 회전량을 추정하여 보상한다. 수학적 13은 상술한 본 발명의 급수 전개 근사 방식을 이용해 도출된 것이다. 이하에서 각 삼각함수에서 초기에 정하는 추정값은 오차누적을 막기 위해 정확히 추정해야 할 필요가 있음을 알 수 있다.

<83> 
$$\begin{aligned} \sin(\alpha \pm \beta) &= \sin(\alpha)\cos(\beta) \pm \cos(\alpha)\sin(\beta) \\ \text{【수학적 12】} \quad \cos(\alpha \pm \beta) &= \cos(\alpha)\cos(\beta) \mp \sin(\alpha)\sin(\beta) \end{aligned}$$

<84> 【수학적 13】  $k=1$ 인 경우,

<85> 
$$\begin{aligned} \cos(\hat{\Delta\omega}T_s) &= \sum_{n=0}^{N/2} (-1)^n \frac{\hat{\Delta\omega}^{2n} T_s^{2n}}{(2n)!} + a1 \cdot (-1)^N \frac{\hat{\Delta\omega}^{2N} T_s^{2N}}{(2N)!} \\ \sin(\hat{\Delta\omega}T_s) &= \sum_{n=0}^{N/2-1} (-1)^n \frac{\hat{\Delta\omega}^{2n+1} T_s^{2n+1}}{(2n+1)!} + a2 \cdot (-1)^N \frac{\hat{\Delta\omega}^{2N+1} T_s^{2N+1}}{(2N+1)!} \end{aligned}$$

<86>  $k \geq 2$ 인 경우,

<87> 
$$\begin{aligned} \cos(k\hat{\Delta\omega}T_s) &= \cos((k-1)\hat{\Delta\omega}T_s + \hat{\Delta\omega}T_s) \\ &= \cos((k-1)\hat{\Delta\omega}T_s)\cos(\hat{\Delta\omega}T_s) - \sin((k-1)\hat{\Delta\omega}T_s)\sin(\hat{\Delta\omega}T_s) \end{aligned}$$

<88> 
$$\begin{aligned} \sin(k\hat{\Delta\omega}T_s) &= \sin((k-1)\hat{\Delta\omega}T_s + \hat{\Delta\omega}T_s) \\ &= \sin((k-1)\hat{\Delta\omega}T_s)\cos(\hat{\Delta\omega}T_s) + \cos((k-1)\hat{\Delta\omega}T_s)\sin(\hat{\Delta\omega}T_s) \end{aligned}$$

<89> 수학식 13에서, 첫번째 샘플  $k=1$ 의 위상회전(phase rotation)을 보상하기 위해 급수전개를 이용해  $\cos(\Delta\hat{\omega}T_s)$ 와  $\sin(\Delta\hat{\omega}T_s)$ 의 값을 얻어낸다. 두번째 샘플 이후부터는 이전 샘플 함수값과 첫번째 샘플 함수값을 이용해 수학식 12의 삼각함수 전개법으로 구해 나간다. 대부분의 OFDM 시스템에서는 이러한 주파수 오프셋 추정 오차로 인한 위상 회전을 막기 위해 데이터 효율 저하를 감수하며 데이터 영역에 파일럿(pilot)을 삽입하고 있다. 그러나 본 발명을 적용하면, 주파수 오프셋 추정 오차를 최소화하기 위해 상술한 테일러 급수 전개 대신 상술한 본 발명의 급수 전개 근사 함수가 사용되므로, 파일럿을 삽입하는 등의 데이터 효율 저하 요인을 제거할 수 있다.

<90> 도 7은 파일럿이 없는 IEEE 802.11a 시스템을 가정하여  $\arctan(x)$  함수의  $x$ 가  $-0.94$  일 때의 기존의 유한 테일러 전개 방식과 본 발명의 전개 방식을 적용한 QAM-OFDM 성좌도를 10 개의 OFDM 심볼 동안 관찰한 결과를 도시한 그래프이다. 도 5를 참조해 보면  $x=-0.94$ 일 때 본 발명의 방식을 사용했을 때, 최악의 근사 오차 에러  $|E_N(x)|$ 가 발생한다. 도 7a 및 도 7b는 각각  $N=7$ 과  $N=8$ 의 경우,  $x=-0.94$ 일 때 일반적인 테일러 급수 전개시의 근사 오차 에러의 절대값  $|E_N(x)|$ 을 나타낸 것으로, 그 값이 각각  $0.65^\circ$  및  $0.52^\circ$  일 때의 성좌도를 도시한 것이다.  $x=-0.94$ 일 때 본 발명의 근사화 방식을 채용한 급수 전개 성능은,  $N=7$ 일 때  $E_N(x)=0.047^\circ$  이 된다. 도 7c는 이를 적용한 QAM-OFDM 성좌도로서, 이 성좌도는 위상 회전 없이 최적 지점에 존재함을 알 수 있다.

#### 【발명의 효과】

<91> 본 발명에 의하면, 유한항의 급수 전개 함수를 간단하게 근사화 시키고, 그 근사화 오차를 최소화할 수 있다.

**【특허청구범위】****【청구항 1】**

소정 입력 신호에 대해 오차가 최소화된 소정의 유한 항수  $N$ 의 급수전개함수를 산출하는, 급수전개함수의 근사화 방법에 있어서,

상기 입력 신호에 대해 소정 유한 항수  $N$ 의 테일러 급수 전개를 수행하는 단계;

상기 입력 신호에 대해 항수  $N$ 의 테일러 급수 전개를 수행하는 단계;

상기  $N-1$  항수의 테일러 급수 전개 결과에 소정 가중치  $\alpha$ 를 곱하는 단계;

상기 가중치  $\alpha$ 를 곱한  $N-1$  항의 테일러 급수 전개 결과와 상기 유한 항수  $N$ 인 테일러 급수 전개 결과를 가산하는 단계; 및

상기 가산 결과를  $\alpha+1$ 로 나누는 단계를 포함함을 특징으로 하는 급수전개함수의 근사화 방법.

**【청구항 2】**

제1항에 있어서, 상기  $\alpha$ 는  $0 < \alpha \leq 1$ 임을 특징으로 하는 급수전개 함수의 근사화 방법.

**【청구항 3】**

소정 입력 신호에 대해 오차가 최소화된 소정의 유한 항수  $N$ 의 급수전개함수를 산출하는, 급수전개함수의 근사화 방법에 있어서,

$N-1$  항 까지의 테일러 급수 전개합을 산출하는 단계;

$N$ 번째 항의 함수값에 소정의 가중치를 곱한 값을 산출하는 단계; 및



상기 N-1항 까지의 급수전개합과 상기 가중치가 곱해진 N번째 함수값을 더한 급수 전개근사함수를 산출하는 단계를 포함함을 특징으로 하는 급수전개함수의 근사화 방법.

【청구항 4】

제3항에 있어서, 상기 소정의 가중치는,

$0 < \alpha \leq 1$ 인  $\alpha$ 에 대해,  $\frac{(-1)^N}{(\alpha+1)}$  임을 특징으로 하는 급수전개함수의 근사화 방법.

【청구항 5】

제4항에 있어서, 상기  $\alpha$ 는,

주어진 N 값에 대해 구해지며, 그 주어진 N 값에 대해 상기 급수전개근사함수와 이 상적인 테일러 급수 전개 함수값과의 오차  $|E_N(x)|$ 가 최대가 되는 x에서의 상기 오차값을 최소로 할 수 있는 값으로 정함을 특징으로 하는 급수전개함수의 근사화 방법.

【청구항 6】

제4항에 있어서, 상기  $\alpha$ 를 결정하는 단계는,

- a) 주어진 입력 신호(x)의 범위 내에서 가장 작은 값  $x_{\min}$ 을 취하는 단계;
- b) 상기 급수전개근사함수에서 채 N과 x에 대한 결과 f를 얻는 단계;
- c) x에 대해 N을 무한대로 했을 때의 이상적인 테일러 급수 전개 함수값  $F_x$ 에서 상기 f를 뺀 오차값  $E_{N,x}$ 을 구하여 저장하는 단계;
- d) x가 주어진 범위 내에서 최대값인지 아닌지를 판단하여 최대값에 도달하지 않았으면 x값에 소정 정밀 증가분  $\delta$ 을 가산하고 가산된 입력 x에 대해 상기 b) 단계부터 다시 수행하는 단계;

e)  $x$  가 최대값이면 c) 단계에서 저장한 모든  $x$ 들 각각의 오차값의 절대값  $|E_{N,x}|$  가운데 최대값을 선택하는 단계; 및

f) 선택된 최대 오차 함수로부터, 함수값이 최소가 되게 하는  $\alpha$ 를 산출하고, 산출된  $\alpha$ 를 현재의  $N$ 에 대한 상기 수학식 8의  $\alpha$  값으로서 정해 저장하는 단계를 포함함을 특징으로 하는 급수전개함수의 근사화 방법.

#### 【청구항 7】

소정 입력 신호에 대해 오차가 최소화된 소정의 유한 항수  $N$ 의 급수전개함수를 산출하는, 급수전개함수의 근사화 방법에 있어서,

전체 입력 신호 구간을 소정 개수 만큼 분리하는 단계;

상기 분리된 각 입력 신호 구간에 대해,  $N-1$ 항 까지의 테일러 급수 전개합을 산출하는 단계;

$N$  번째 항의 함수값에, 상기 분리된 입력 신호 구간의 중심으로부터 좌측에 대해 소정의 제1가중치를 곱하고 우측에 대해 소정의 제2가중치를 곱하는 단계; 및

상기  $N-1$ 항 까지의 급수전개합과 상기 가중치가 곱해진  $N$ 번째 함수값을 더한 급수전개근사함수를 산출하는 단계를 포함함을 특징으로 하는 급수전개함수의 근사화 방법.

#### 【청구항 8】

제7항에 있어서, 상기 제1가중치 및 제2가중치는,

상기 각 구간의 좌 및 우측의 주어진  $N$  값에 대해 구해지며, 주어진  $N$  값에 대해 이상적인 함수값과 상기 급수전개근사함수값과의 차가 최대가 되는  $x$ 에서 상기 오차값을 최소로 할 수 있는 값으로 정함을 특징으로 하는 급수전개함수의 근사화 방법.

## 【청구항 9】

직교 주파수 분할 다중화(OFDM) 시스템의 반송파 주파수 오프셋 보상 방법에 있어서,

아크탄젠트 (arctan) 급수 전개를 이용해 반송파의 주파수 오프셋을 추정하는 단계;

추정된 주파수 오프셋( $\hat{\epsilon}$ )을 이용하여 수신된 샘플들 각각에 대한 위상 회전량을 구하기 위해 먼저 첫번째 샘플( $k=1$ )에 대한 위상 회전량을 구하며 이때 사용되는  $\sin(2\pi\hat{\epsilon})$  및  $\cos(2\pi\hat{\epsilon})$  값은 급수전개하여 오차값을 최소로 하는 방식을 적용하여 위상 회전량을 구하는 단계; 및

두 번째 샘플 이후부터 상기 첫번째 샘플( $k=1$ )에서 구한 값과 이전 샘플( $k-1$ )에서 구한 샘플값을 이용하여 삼각함수 전개기법을 통해  $k$  번째 샘플의 위상 회전량을 구하는 단계를 포함함을 특징으로 하는 OFDM 시스템의 반송파 오프셋 보상 방법.

## 【청구항 10】

제9항에 있어서, 상기 직교 주파수 분할 다중화 반송파의 주파수 오프셋( $\hat{\epsilon}$ )은,

$y(i)$  가  $i$ 번째 수신 샘플을 나타내고, Re와 Im이 각각 수신 신호의 복소수의 실수부와 허수부를 나타내고,  $L$ 이 고속 푸리에 변환의 크기(FFT)를 나타내고,  $\hat{\epsilon}$ 이 정규화된 추정 반송파 주파수 오프셋 ( $\Delta f T$ )을 나타낼 때,

$$\frac{1}{2\pi} \arctan \left\{ \frac{\sum_{i=1}^L \text{Im}(y(-i)y^*(L-i))}{\sum_{i=1}^L \text{Re}(y(-i)y^*(L-i))} \right\} \text{에 따라 산출됨을 특징으로 하는, 급수전개근사함수를}$$

이용한 OFDM 시스템의 반송파 오프셋 보상 방법.

## 【청구항 11】

제9항 또는 제10항에 있어서, k 번째 샘플의 위상 회전 변화량의 산출은,

k=1인 경우,  $\alpha_1, \alpha_2$ 를 각각 소정의 가중치라고 할 때,

$$\begin{aligned}\cos(\Delta\omega T_s) &= \sum_{n=0}^{N/2-1} (-1)^n \frac{\Delta\omega T_s^{2(N-n)}}{(2n)!} + \alpha_1 \cdot (-1)^N \frac{\Delta\omega T_s^{2N}}{(2N)!} \\ \sin(\Delta\omega T_s) &= \sum_{n=0}^{N/2-1} (-1)^n \frac{\Delta\omega T_s^{2(N-n)+1}}{(2n+1)!} + \alpha_2 \cdot (-1)^N \frac{\Delta\omega T_s^{2N+1}}{(2N+1)!}\end{aligned}$$

k ≥ 2인 경우,

$$\begin{aligned}\cos(k\Delta\omega T_s) &= \cos((k-1)\Delta\omega T_s + \Delta\omega T_s) \\ &= \cos((k-1)\Delta\omega T_s) \cos(\Delta\omega T_s) - \sin((k-1)\Delta\omega T_s) \sin(\Delta\omega T_s)\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sin(k\Delta\omega T_s) &= \sin((k-1)\Delta\omega T_s + \Delta\omega T_s) \\ &= \sin((k-1)\Delta\omega T_s) \cos(\Delta\omega T_s) + \cos((k-1)\Delta\omega T_s) \sin(\Delta\omega T_s)\end{aligned}$$

과 같이 수행함을 특징으로 하는,

급수전개근사함수를 이용한 OFDM 시스템의 반송파 오프셋 주파수 보상 방법.

## 【청구항 12】

소정 입력 신호에 대해 오차가 최소화된 소정의 유한 항수 N의 급수전개함수를 산출하는, 급수전개 함수 근사화 시스템에 있어서,

상기 입력 신호에 대해 소정 유한 항수 N-1의 테일러 급수 전개를 수행하고, 상기 입력 신호에 대해 항수 N의 테일러 급수 전개를 수행하고, 상기 N-1 항수의 테일러 급수 전개 결과에 소정 가중치  $\alpha$ 를 곱하고, 상기 가중치  $\alpha$ 를 곱한 N-1 항의 테일러 급수 전개 결과와 상기 유한 항수 N인 테일러 급수 전개 결과를 가산하고, 상기 가산 결과를  $\alpha+1$ 로 나눔으로써, 입력 신호의 급수전개함수값을 산출하는 연산처리부를 포함함을 특징으로 하는 급수전개함수 근사화 시스템.

## 【청구항 13】

제12항에 있어서, 상기  $\alpha$ 는  $0 < \alpha \leq 1$ 임을 특징으로 하는 급수전개 함수 근사화 시스템.

## 【청구항 14】

제12항에 있어서, 상기  $\alpha$ 는,

각각의  $N$  값에 대해 구해지며, 해당  $N$  값에 대해 상기 급수전개근사함수와 이상적인 테일러 급수 전개 함수값과의 오차  $|E_N(x)|$ 가 최대가 되는  $x$ 에서의 상기 오차값을 최소로 할 수 있는 값으로 정함을 특징으로 하는 급수전개함수 근사화 시스템.

## 【청구항 15】

소정 입력 신호에 대해 오차가 최소화된 소정의 유한 항수  $N$ 의 급수전개함수를 산출하는, 급수전개 함수 근사화 시스템에 있어서,

$N-1$ 항까지의 테일러 급수 전개함을 산출하고,  $N$ 번째 항의 함수값에 소정의 가중치를 곱한 값을 산출하고, 상기  $N-1$ 항까지의 급수전개함과 상기 가중치가 곱해진  $N$ 번째 함수값을 더한 급수전개근사함수를 산출하는 연산처리부를 포함함을 특징으로 하는 급수전개함수 근사화 시스템.

## 【청구항 16】

제15항에 있어서, 상기 소정의 가중치는,

$0 < \alpha \leq 1$ 인  $\alpha$ 에 대해,  $\frac{(-1)^N}{(\alpha+1)}$ 임을 특징으로 하는 급수전개함수 근사화 시스템.

## 【청구항 17】

제15 또는 제16항에 있어서, 상기  $\alpha$ 는,

주어진  $N$  값에 대해 구해지며, 주어진  $N$  값에 대해 상기 급수전개근사함수와 이상적인 테일러 급수 전개 함수값과의 오차  $|E_N(x)|$ 가 최대가 되는  $x$ 에서의 상기 오차값을 최소로 할 수 있는 값으로 정함을 특징으로 하는 급수전개함수 근사화 시스템.

## 【청구항 18】

제17항에 있어서, 상기 연산처리부는 상기  $\alpha$ 에 대해,

- a) 주어진 입력 신호( $x$ )의 범위 내에서 가장 작은 값  $x_{\min}$ 을 취하고,
- b) 상기 급수전개근사함수에서  $N$ 과  $x$ 에 대한 결과  $f$ 를 얻고,
- c)  $x$ 에 대해  $N$ 을 무한대로 했을 때의 이상적인 테일러 급수 전개 함수값  $F_x$ 에서 상기  $f$ 를 뺀 오차값  $E_{N,x}$ 을 구하여 저장하고,
- d)  $x$ 가 주어진 범위 내에서 최대값인지 아닌지를 판단하여 최대값이 아니면  $x$ 값에 소정 증가분  $\delta$ 을 가산하고 가산된 입력  $x$ 에 대해 상기 b) 부터 다시 수행하고,
- e)  $x$ 가 최대값이면 c)에서 저장한 모든  $x$ 들 각각의 오차값의 절대값  $|E_{N,x}|$  가운데 최대값을 선택하고,
- f) 선택된 최대 오차 함수로부터, 함수값이 최소가 되게 하는  $\alpha$ 를 산출하고, 산출된  $\alpha$ 를 현재의  $N$ 에 대한 수학적 식 8의  $\alpha$  값으로서 정해 저장하는 시뮬레이션을 통해 산출함을 특징으로 하는 급수전개함수 근사화 시스템.

## 【청구항 19】

직교 주파수 분할 다중화(OFDM) 시스템에 있어서,

아크탄젠트 (arctan) 급수 전개를 이용해 반송파의 주파수 오프셋을 추정하는 오프셋 추정 수단; 및

추정된 주파수 오프셋 ( $\hat{\epsilon}$ )을 이용하여 수신된 샘플들 각각에 대한 위상 회전량을 구하기 위해 먼저 첫번째 샘플( $k=1$ )에 대한 위상 회전량을 구하고 이때 사용되는  $\sin(2\pi\hat{\epsilon})$  및  $\cos(2\pi\hat{\epsilon})$  값은 급수전개하여 오차값을 최소로 하는 방식을 적용해 위상 회전량을 구하고, 두 번째 샘플 이후부터 상기 첫번째 샘플( $k=1$ )에서 구한 값과 이전 샘플( $k-1$ )에서 구한 샘플값을 이용하여 삼각함수 전개기법을 통해  $k$ 번째 샘플의 위상 회전량을 구하는 위상 회전 보상 수단을 포함함을 특징으로 하는 급수 전개 근사 함수를 이용한 OFDM 시스템.

## 【청구항 20】

제19항에 있어서, 상기 오프셋 추정 수단은,

$y(i)$  가  $i$ 번째 수신 샘플을 나타내고, Re와 Im이 각각 수신신호의 복소수의 실수부와 허수부를 나타내고,  $L$ 이 고속 푸리에 변환의 크기(FFT)를 나타내고,  $\hat{\epsilon}$ 이 정규화된 추정 반송파 주파수 오프셋 ( $\Delta f T$ )을 나타낼 때,

$$\frac{1}{2\pi} \arctan \left\{ \frac{\sum_{i=1}^L \text{Im}(y(-i)y^*(L-i))}{\sum_{i=1}^L \text{Re}(y(-i)y^*(L-i))} \right\} \text{에 따라 반송파의 주파수 오프셋}(\hat{\epsilon}) \text{을 산출함을 특징으로}$$

로 하는, 급수전개근사함수를 이용한 OFDM 시스템.

## 【청구항 21】

제19항 또는 제20항에 있어서, 상기 위상 회전 보상수단은,

k=1 인 경우,  $\alpha_1, \alpha_2$ 를 각각 소정의 가중치라고 할 때,

$$\begin{aligned}\cos(\Delta\omega T_s) &= \sum_{n=0}^{N-1} (-1)^n \frac{\Delta\omega T_s^{2(N-n)}}{(2n)!} + \alpha_1 \cdot (-1)^N \frac{\Delta\omega T_s^{2N}}{(2N)!} \\ \sin(\Delta\omega T_s) &= \sum_{n=0}^{N-1} (-1)^n \frac{\Delta\omega T_s^{2N+1-2n}}{(2n+1)!} + \alpha_2 \cdot (-1)^N \frac{\Delta\omega T_s^{2N+1}}{(2N+1)!}\end{aligned}$$

k ≥ 2인 경우,

$$\begin{aligned}\cos(k\Delta\omega T_s) &= \cos((k-1)\Delta\omega T_s + \Delta\omega T_s) \\ &= \cos((k-1)\Delta\omega T_s)\cos(\Delta\omega T_s) - \sin((k-1)\Delta\omega T_s)\sin(\Delta\omega T_s)\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sin(k\Delta\omega T_s) &= \sin((k-1)\Delta\omega T_s + \Delta\omega T_s) \\ &= \sin((k-1)\Delta\omega T_s)\cos(\Delta\omega T_s) + \cos((k-1)\Delta\omega T_s)\sin(\Delta\omega T_s)\end{aligned}$$

과 같이 k 번째 샘플의 위상 회전

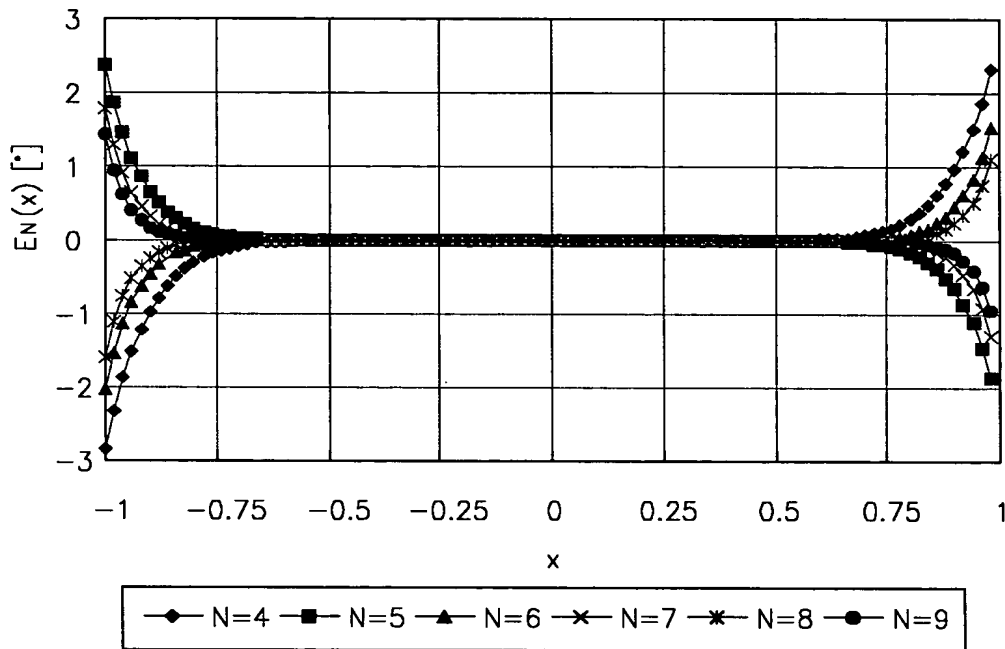
변화량을 산출함을 특징으로 하는, 급수전개근사함수를 이용한 OFDM 시스템.



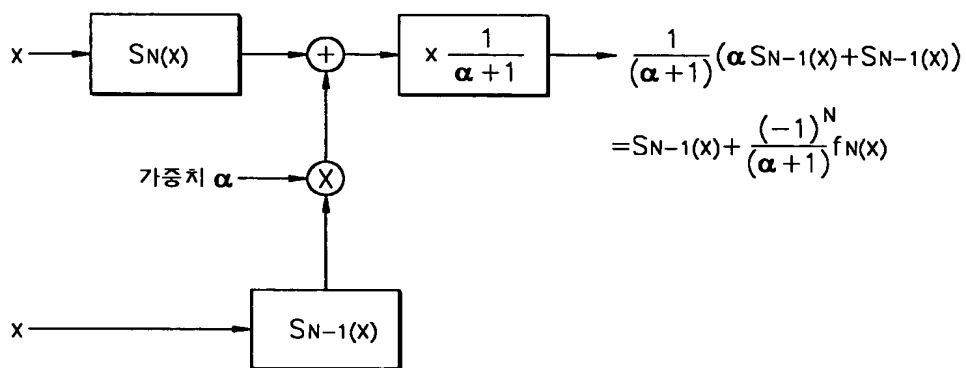


【도면】

【도 1】

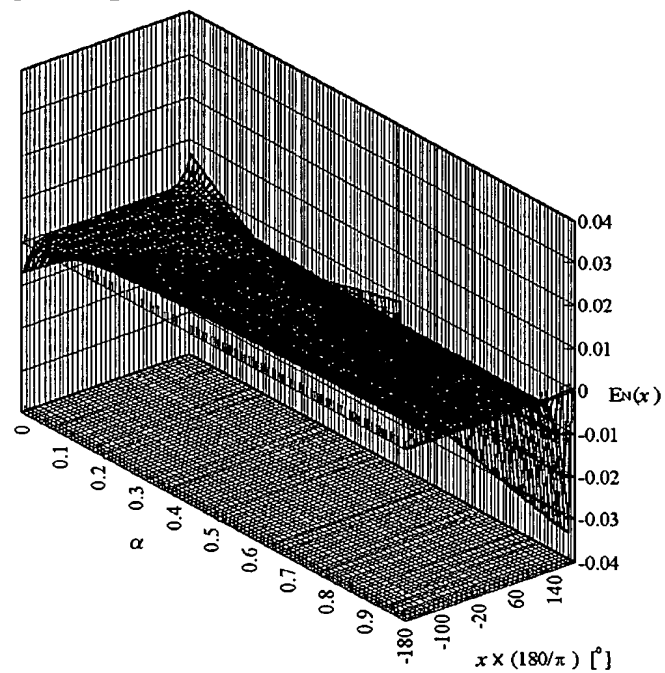


【도 2】

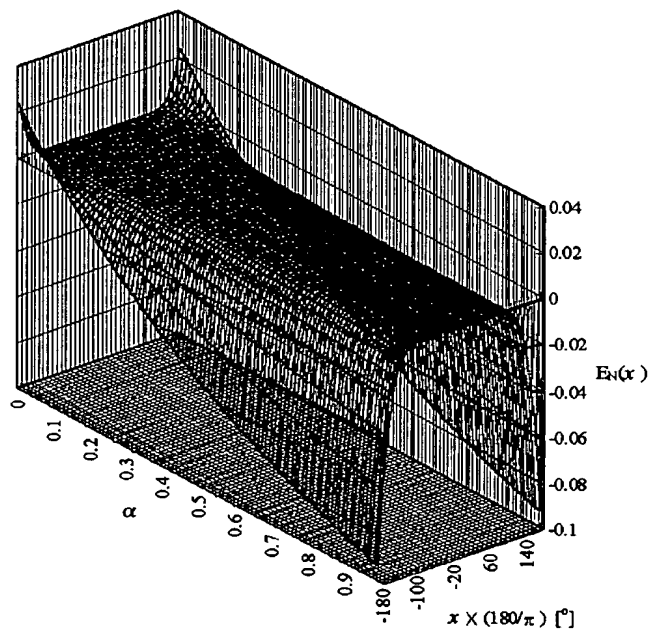




【도 3a】

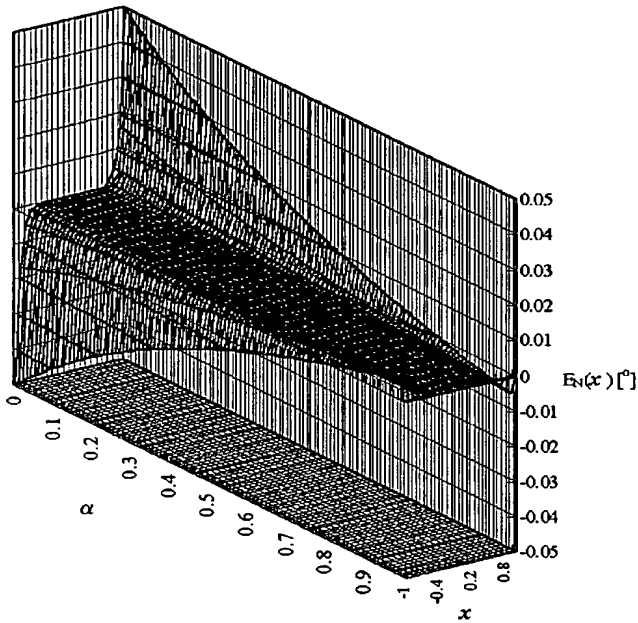


【도 3b】

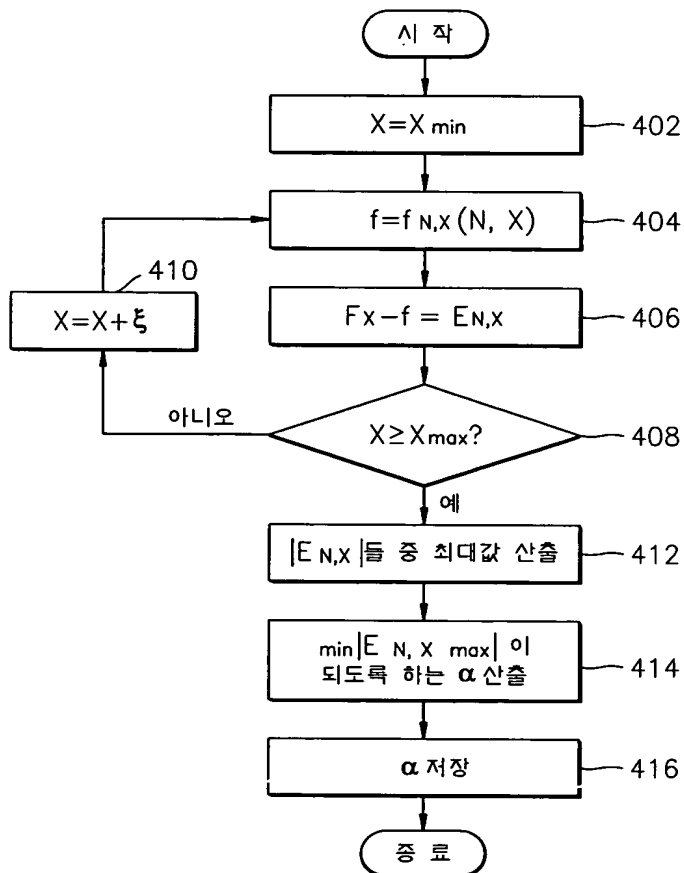




【도 3c】

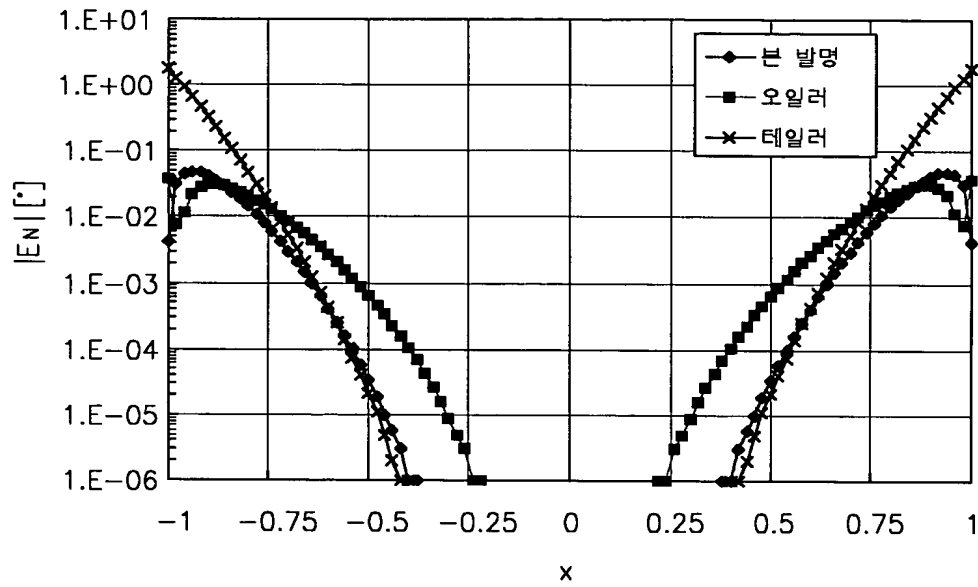


【도 4】

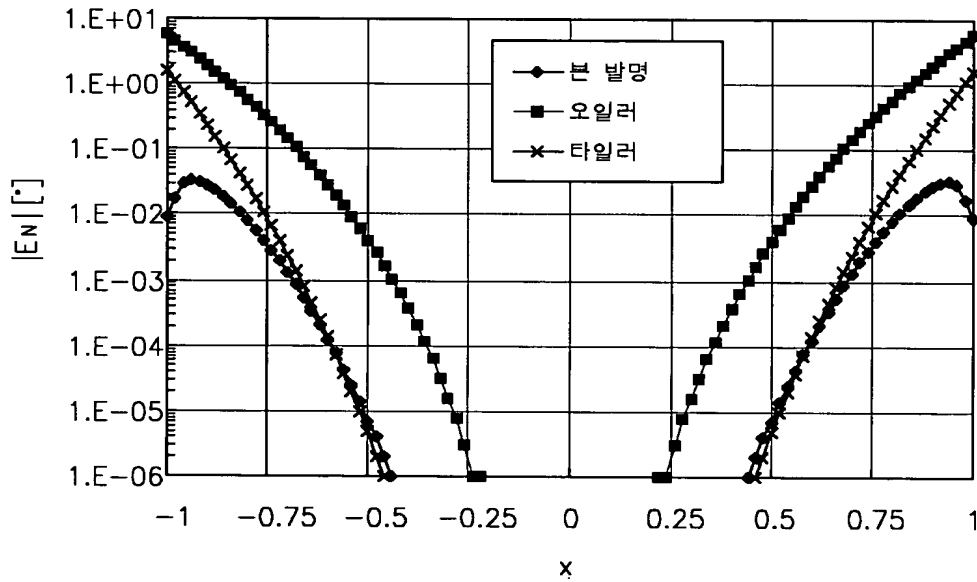




【도 5a】

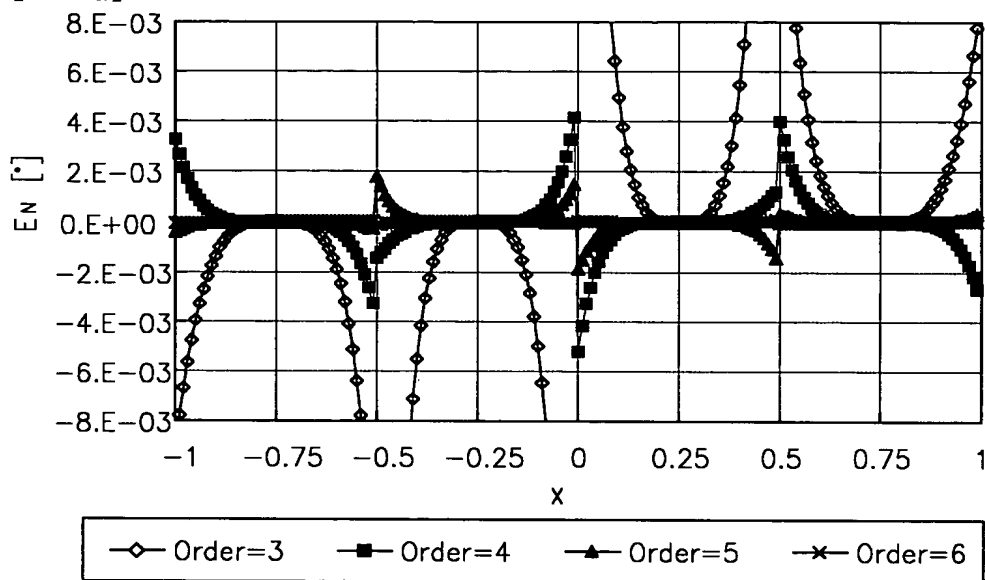


【도 5b】

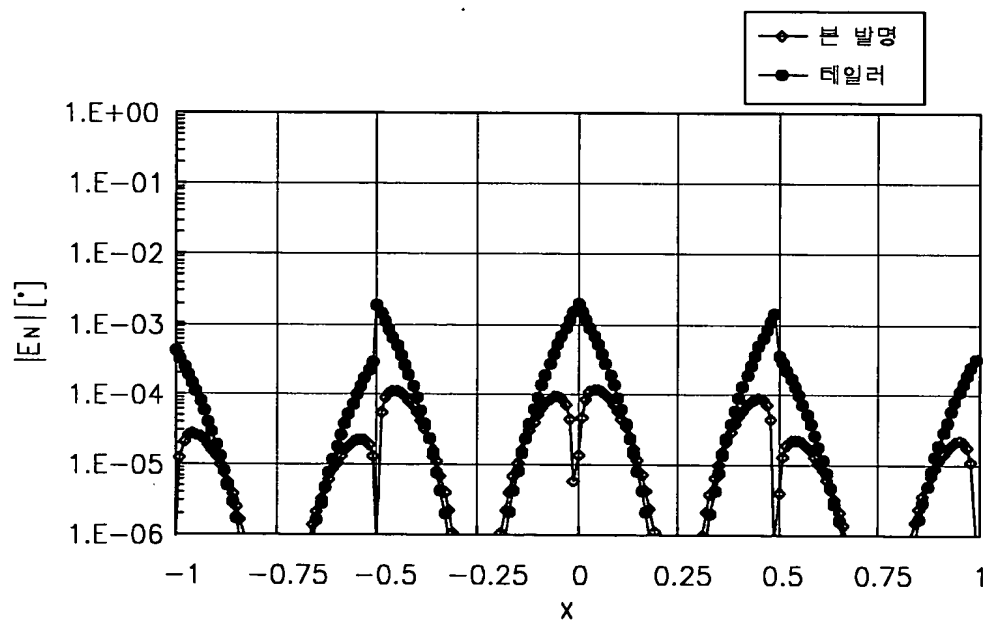




【도 6a】

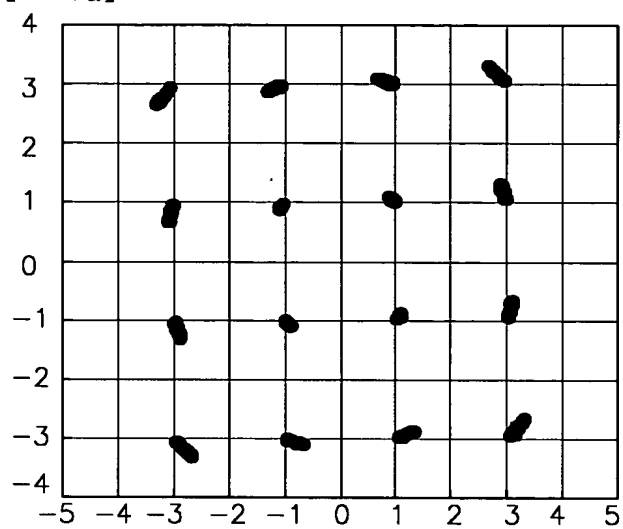


【도 6b】

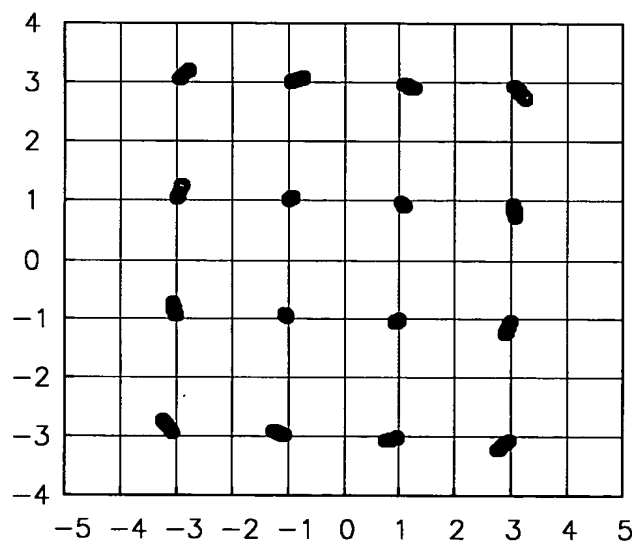




【도 7a】



【도 7b】





【도 7c】

